热应激条件下粗饲料组合对奶牛氮素利用的影响

郭 江[1,2,3] 王加启[2] 高胜涛[2,3] 权素玉[2,3] 卜登攀[1,2,3,4*]

（1.湖南农业大学动物科学技术学院，长沙 410128；2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养国家重点实验室，北京 100193；3.中国农业科学院与世界农用林业中心，农用林业与可持续畜牧业联合实验室，北京 100193;4.东北农业大学食品安全与营养协同创新中心，哈尔滨 150030）

摘 要：为了研究粗饲料组合对热应激奶牛氮素利用的影响,试验选取 20 头胎次和泌乳天数相似的健康荷斯坦奶牛，随机分成 2 组，每组 10 头，分别饲喂 2 种粗饲料组合饲粮：玉米青贮+苜蓿（0.92∶1.00，AF 组）和玉米秸秆（CS 组）。2 组饲粮精料相同，精粗比均为 63.7:36.3。预试期 1 周，正试期 8 周。结果表明：1）与 CS 组相比，AF 组奶牛产奶量及能量校正乳、4%脂肪校正乳、乳蛋白和乳糖产量显著或极显著升高（P<0.01 或 P<0.05）。2）奶牛对 AF 组饲粮粗蛋白质表观消化率极显著高于 CS 组（P<0.01）。3）与 CS 组相比，AF 组瘤胃微生物蛋白产量显著升高（P<0.05），而尿液和血液尿素氮浓度极显著降低（P<0.01）。4）与 CS 组相比，AF 组氮摄入量和乳中氮产量极显著升高（P<0.01），但氮转化效率显著降低（P<0.05）。结果提示，与玉米秸秆相比，玉米青贮+苜蓿的组合能提高饲粮粗蛋白质水平，增加热应激奶牛粗蛋白质表观消化率，促进瘤胃微生物蛋白和乳蛋白的合成，但氮的转化效率有待提高。

关键词：热应激；粗饲料；微生物蛋白；表观消化率；氮转化效率

中图分类号：S816.5；S823

热应激导致奶牛采食量下降和生产性能降低[1]。最近研究发现热应激引起奶牛氮代谢改变，乳蛋白合成降低，产生“热应激乳蛋白降低征”[2-4]。此外，奶牛养殖业又面临氮排泄的问题。据 Tamminga[5]研究报道，奶牛摄入的氮中只有 21%被机体利用，其余 79%从尿和粪中排出体外。因此，急需采取措施提高热应激奶牛氮转化效率和增加乳蛋白的合成。而

收稿日期：2015-12-18

基金项目：国家自然科学基金（31372341）；“十二五”国家科技支撑计划（2012BAD12B02-05）；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）

作者简介：郭 江（1986-），男，福建三明人，博士研究生，从事生理学研究。E-mail: zhouhui163521@163.com

*通信作者：卜登攀，研究员，硕士生导师，E-mail: budengpan@126.com

有研究报道称，粗饲料会影响奶牛对氮的消化利用效率。夏科等[6]研究发现奶牛对苜蓿和羊草氮的消化率高于玉米秸秆。Ren 等[7]研究也发现，粗饲料组合会影响奶牛氮转化效率和乳蛋白合成。目前，粗饲料组合对热应激奶牛氮代谢影响的研究较少。因此，本试验在热应激条件下，研究粗饲料组合对奶牛氮转化效率的影响，为提高热应激奶牛乳蛋白合成提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验设计

根据泌乳天数[(86±14) d]和产奶量[(36.7±4.3) kg/d]等相近的原则，将 20 头初产荷斯坦奶牛随机分成 2 组，每组 10 头，分别饲喂 2 种粗饲料组合饲粮：玉米青贮+苜蓿（0.92:1.00，AF 组）和玉米秸秆（CS 组）。2 组饲粮精料相同，精粗比均为 63.7:36.3。试验饲粮配方参照 NRC（2001）推荐标准，其组成及营养水平见表 1。预试期 1 周，正试期 8 周。试验奶牛采用全自动饲喂系统（RIC system）饲养，每天以全混合日粮（TMR）形式饲喂 2 次（07:00 和 19:00），自由饮水，每天挤奶 3 次（07:00、14:00 和 20:00）。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups	
	AF	CS
原料 Ingredients		
玉米秸秆 Corn straw		36.3
苜蓿 Alfalfa hay	17.4	
玉米青贮 Corn silage	18.9	
豆粕 Soybean meal	12.4	12.4
菜籽粕 Rapeseed meal	5.2	5.2
膨化大豆 Extruded soybean	2.1	2.1
甜菜渣 Sugar beet pulp	4.2	4.2
全棉籽 Whole cottonseed	10.5	10.5
玉米 Corn	27.0	27.0
石粉 Limestone	1.0	1.0
食盐 NaCl	0.6	0.6
预混料 Premix[1)]	0.6	0.6
合计 Total	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels[2)]		
泌乳净能 NE_L/(Mcal/kg)	7.12	6.70
粗蛋白质 CP	18.5	16.7
粗脂肪 EE	3.87	3.46
中性洗涤纤维 NDF	36.6	46.3
酸性洗涤纤维 ADF	19.1	25.5
粗灰分 Ash	7.22	7.99

[1)]每千克预混料含有 One kg of premix contained the following:VA 250 000 IU,VD 65 000 IU,VE 2 100

IU,Fe 400 mg,Cu 540 mg,Zn 2 100 mg,Mn 560 mg,Se 15 mg,I 35 mg,Co 68 mg。

2)泌乳净能为计算值，其余指标均为实测值。NE_L was a calculated value, while other nutrient levels were measured values.

1.2 样品采集与制备

1.2.1 温湿度的记录与温湿指数（THI）计算

每天 07:00 和 14:00 测定呼吸频率、直肠温度。每天 06：00、14：00 和 22：00 采用温湿度计记录牛舍内的温度和相对湿度,并参考 Cowley 等[4]方法换算成 THI，计算公式如下：

$$THI=1.8\times T+32-0.55\times(1-RH)\times(T\times1.8+32-58)。$$

式中：T 为温度(℃)；RH 为相对湿度(%)。

1.2.2 饲料样、乳样采集与指标测定

根据全自动饲喂系统记录奶牛每天的采食量。每天记录奶牛的产奶量,并每周连续 2 d 采集奶样，按早:中:晚=4:3:3 混合，用乳成分自动分析仪（Foss，丹麦）检测乳蛋白、乳脂和乳糖含量，计算每天产量；计算能量校正乳、4%脂肪校正乳产量；根据采食量和产奶量计算料乳比；参照 Bhandari 等[8]的方法测定乳中尿素氮浓度。每 2 周采集 1 次饲粮样和剩料样，65 ℃烘干后粉碎过 40 目筛，密封保存。粗蛋白质（CP）含量采用全自动凯氏定氮仪（VELP.UDK159，意大利）测定，粗脂肪(EE)和粗灰分(ash)含量参照 AOAC（2000）[9]中的方法测定，酸性洗涤纤维（ADF）和中性洗涤纤维（NDF）含量采用纤维分析仪[Ankom（200），美国]测定。

1.2.3 粪便采集与指标测定

于试验第 54、55、56 天采用点收粪方法采集粪便。每天间隔 6 h 采集 1 次粪便，每次采集 200 g，采样结束后缩样至 2 份，各 500 g。一份测定 EE、ash、ADF 和 NDF 含量，另一份加入 10% 6 mol/L 盐酸测定 CP 含量。CP 含量采用全自动凯氏定氮仪（VELP.UDK159，意大利）测定，EE 和 ash 含量参照 AOAC（2000）[9]中的方法测定，ADF 和 NDF 含量采用 Ankom（200）纤维分析仪（Ankom Technology，美国）测定；全肠道表观消化率采用内标法进行估测，酸不溶灰分（AIA）作为内标[10]；计算公式如下：

$$全肠道表观消化率（\%）=100\times[1-(A_1\times B_2)/(A_2\times B_1)]。$$

式中：A_1为饲粮中 AIA 的含量（%）；A_2为粪中 AIA 含量（%）；B_1为饲粮中该养分含量（%）；B_2为粪中该养分含量（%）。

1.2.4 尿液采集与指标测定

于试验第 54、55、56 天采用点收尿方法采集尿液。每天间隔 6 h 采集 1 次尿液，每次收集 30 mL，采样结束后缩样至 100 mL，尿液与 1% 6.0 mol/L 盐酸混合。尿液尿素氮浓度的测定参照 Bhandari 等[8]方法；采用肌酸酐（苦味酸法）和尿酸（尿酶法）试剂盒测定尿液肌酸酐和尿酸浓度，试剂盒均购自南京建成生物工程研究所；采用比色法测定尿液尿囊素浓度[11]；采用嘌呤衍生物（PD）法测定瘤胃微生物蛋白含量[12]。计算公式如下：

尿量=29×体重/肌酸酐[13]；

尿囊（尿酸）素排出量=尿囊（尿酸）浓度×尿量；

PD 排出量（mmol/d）=尿囊素排出量+尿酸排出量；PD 吸收量（mmol/d）=(PD 排出量–0.385×$BW^{0.75}$)/0.85；

微生物蛋白产量（mmol/d）=(PD 吸收量×70)/(0.116×0.83×1 000)。

式中：0.385×$BW^{0.75}$为内源蛋白质 PD 排出量（mmol/d）；0.85 为 PD 的吸收率；70 为 PD 中氮的含量（mg/mmol）；0.116 为 PD 氮与瘤胃微生物总氮之比；0.83 为微生物嘌呤的消化率。

1.2.5 血液采集与指标测定

于试验的第 56 天，晨饲前空腹采集尾静脉血液，制备乙二胺四乙酸（EDTA）抗凝血，3 000 r/min 离心 20 min 制备血浆，参照 Bhandari 等[8]方法测定血液中尿素氮浓度。

1.3 数据处理与统计分析

试验数据采用 SAS 9.2 统计软件进行分析，其中呼吸频率、直肠温度、产奶量、能量校正乳、4%脂肪校正乳、料乳比和乳成分用 Proc Mixed 模型分析，其余指标采用一般线性模型（GLM）的 t 检验分析。$P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 牛舍 THI 和奶牛呼吸频率、直肠温度变化

整个试验期间牛舍的 THI 如图 1 所示，牛舍在 06:00、14:00 和 22:00 THI 平均值分别是 73.8（65.7~82.0）、80.0（67.9~86.9）、77.0（65.8~86.6），说明试验期奶牛处于热应激状态（THI＞72）。由表 2 可知，2 组奶牛呼吸频率和直肠温度无显著差异（P＞0.05）。

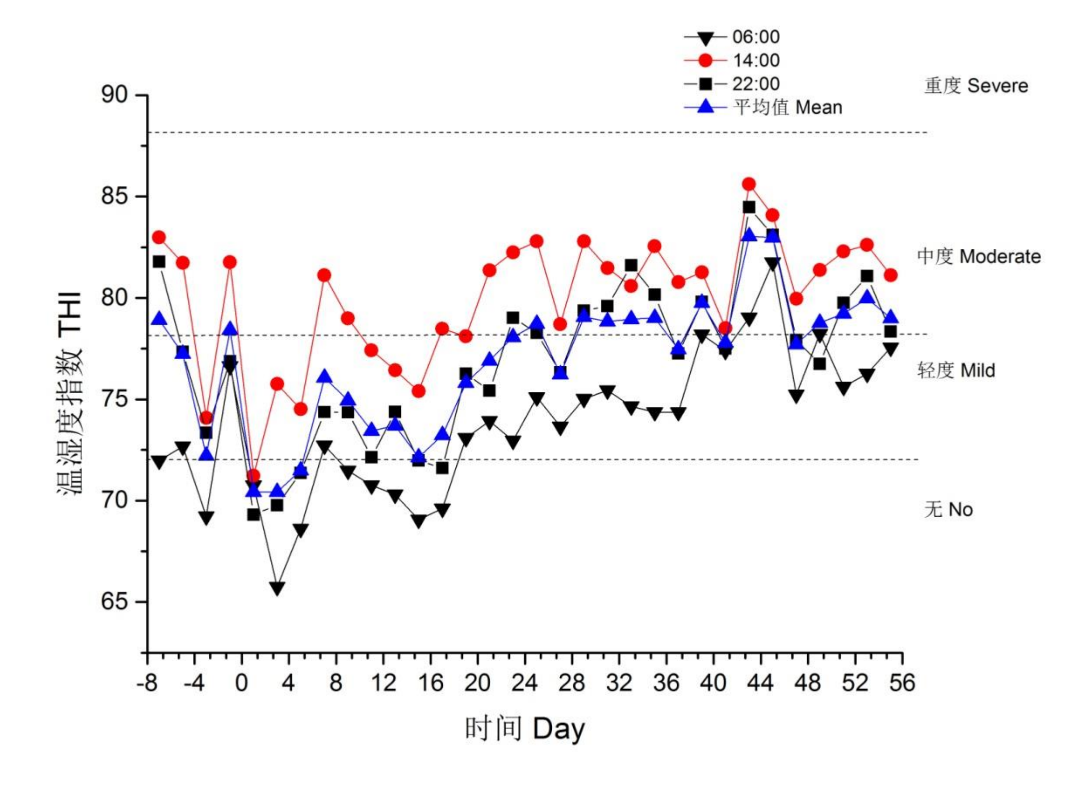


图 1 试验期牛舍的 THI 变化

Fig.1 The changes of THI in barns during experimental period

表 2 试验期间奶牛的呼吸频率和直肠温度

Table 2 Respiratory rate and rectal temperature of dairy cows during experimental period

项目 Items	组别 Groups		标准误 SEM	P 值 P-value		
	AF	CS		处理 Trt.	时间 Time	交互 Interaction
呼吸频率 RR/（次/min）						
07：00	39.1	37.0	1.85	0.43	0.05	0.70
14：00	61.2	64.7	2.69	0.38	0.10	0.44
直肠温度 RT/℃						
07：00	38.2	38.3	0.04	0.05	0.14	0.26
14：00	38.8	38.9	0.12	0.62	0.61	0.49

2.2 粗饲料组合对热应激奶牛生产性能影响

由表 3 可知，AF 组奶牛的产奶量、乳蛋白和乳糖产量极显著高于 CS 组（P<0.01）；能量校正乳和 4%脂肪校正乳显著高于 CS 组（P<0.05）；而料乳比和乳脂产量差异无显著（P＞0.05）。

表 3 粗饲料组合对热应激奶牛生产性能影响

Table 3 Effects of forage combinations on performance of heat-stressed dairy cows

项目 Items	组别 Groups		标准误 SEM	*P* 值 *P*-value		
	AF	CS		处理 Trt.	时间 Time	交互 Interaction
产奶量 Milk yield/(kg/d)	35.3	30.2	1.25	<0.01	<0.01	<0.01
4%脂肪校正乳 4% FCM/(kg/d)	31.9	28.6	1.05	0.04	<0.01	<0.01
能量校正乳 ECM/(kg/d)	34.4	30.4	1.06	0.02	<0.01	<0.01
料乳比 Feed to milk ratio	1.44	1.41	0.045	0.71	<0.01	0.44
乳成分产量 Milk composition yield/(kg/d)						
乳蛋白 Milk protein	1.07	0.87	0.029	<0.01	<0.01	<0.01
乳脂 Milk fat	1.20	1.11	0.047	0.21	<0.01	<0.01
乳糖 Lactose	1.76	1.48	0.063	<0.01	<0.01	<0.01

2.3 粗饲料组合对热应激奶牛营养物质摄入和表观消化率的影响

由表 4 可知，与 CS 组相比，AF 组奶牛干物质、有机物表观消化率显著上升（P<0.05），干物质、有机物、CP 摄入量和 CP 表观消化率极显著上升（P<0.01），而 ADF 摄入量和 NDF、ADF 表观消化率显著降低（P<0.01）。NDF、EE 摄入量和 EE 表观消化率组间无显著差异（P＞0.05）。

表 4 粗饲料组合对热应激奶牛营养物质摄入量和表观消化率影响

Table 4 Effects of forage combinations on nutriment intake and apparent digestibility of heat-stressed dairy cows

项目 Items	组别 Groups		标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	AF	CS		
摄入量 Intake/(kg/d)				
干物质 DM	21.1	17.9	0.50	<0.01
有机物 OM	19.0	16.4	0.49	<0.01
中性洗涤纤维 NDF	7.5	7.5	0.20	0.99
酸性洗涤纤维 ADF	3.9	4.6	0.12	<0.01
粗蛋白 CP	3.8	3.0	0.10	<0.01
粗脂肪 EE	0.66	0.62	0.018	0.11
表观消化率 Apparent digestibility/%				
干物质 DM	71.4	67.0	1.10	0.01
有机物 OM	73.0	68.4	0.94	0.02

中性洗涤纤维 NDF	50.1	55.7	0.99	<0.01
酸性洗涤纤维 ADF	38.1	47.5	1.95	<0.01
粗蛋白 CP	75.7	68.6	1.32	<0.01
粗脂肪 EE	83.1	79.5	1.52	0.11

2.4 粗饲料组合对热应激奶牛血液、尿液、乳中尿素氮浓度和瘤胃微生物蛋白产量的影响

由表 5 可知，AF 组奶牛血液和尿液尿素氮浓度极显著低于 CS 组（$P<0.01$），而瘤胃微生物蛋白产量显著高于 CS 组（$P<0.05$），乳中尿素氮浓度组间无显著差异（$P>0.05$）。

表 5 粗饲料组合对热应激奶牛血液、尿液、乳中尿素氮浓度和瘤胃微生物蛋白产量的影响

Table 5 Effects of forage combinations on blood, urine and milk urea nitrogen concentrations and microbial protein yield of heat-stressed dairy cows

项目 Items	组别 Groups		标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	AF	CS		
血液尿素氮 BUN/(mg/dL)	16.4	19.8	0.62	<0.01
尿液尿素氮 UUN/(mg/dL)	387.4	528.6	23.5	<0.01
乳中尿素氮 MUN/(mg/dL)	15.9	16.6	0.86	0.59
微生物蛋白 Microbial protein/(g/d)	1 626	1 039	136.9	0.02

2.5 粗饲料组合对热应激奶牛氮转化效率的影响

由表 6 可知，AF 组奶牛饲粮氮摄入量和乳中氮产量极显著高于 CS 组（$P<0.01$），而氮的转化效率显著低于 CS 组（$P<0.05$）。

表 6 粗饲料组合对热应激奶牛氮转化效率的影响

Table 6 Effects of forage combinations on nitrogen conversion rate of heat-stressed dairy cows

项目 Items	组别 Groups		标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	AF	CS		
氮摄入量 Nitrogen intake/(g/d)	611.6	478.4	15.7	<0.01
乳中氮产量 Milk nitrogen yield/(g/d)	165.0	141.4	3.99	<0.01
氮的转化效率 Nitrogen conversion rate/%	0.27	0.30	0.007	0.02

3 讨 论

3.1 热应激指标

THI 被认为是判断奶牛热应激的一项重要指标。研究发现，当 THI 大于 72 时，奶牛会出现严重的应激反应[14]。试验期 THI 基本都高于 72，14：00 的 THI 甚至超过 78；说明奶

牛处于热应激状态；另外，Berman 等[15]报道指出，当热应激奶牛呼吸频率超过 60 次/min，奶牛会出现严重的负面反应。而 14：00 奶牛呼吸频率超过 60 次/min，也证明了奶牛处于热应激状态。

3.2 粗饲料组合对热应激奶牛生产性能影响

热应激导致奶牛的采食量下降，引起营养物质摄入减少和产奶量降低[16]。Baumgard 等[17]研究报道在热应激条件下，奶牛优先将营养物质在组织中利用而非进行泌乳。本试验中，与 CS 组相比，AF 组改变粗饲料组合，改善饲粮的适口性，增加奶牛的采食量。Ren 等[6]研究也发现饲喂苜蓿+玉米青贮饲粮奶牛采食量高于饲喂玉米秸秆饲粮。由于采食量升高，AF 组奶牛产奶量也随之升高。王金合等[18]研究发现，饲喂苜蓿干草饲粮奶牛的产奶量显著高于饲喂玉米秸秆饲粮。另外，AF 组饲粮的 CP 含量较高，这可能是产奶量升高的另一个原因。Grings 等[19]研究发现，当饲粮 CP 水平升高时，奶牛的产奶量也升高。

3.3 粗饲料组合对热应激奶牛营养物质表观消化率的影响

热应激可降低奶牛营养物质的消化率[20]。温雅俐等[21]研究发现，热应激使奶牛 CP 的消化率降低 10%。而本试验是在热应激条件下研究不同粗饲料组合对 CP 表观消化率影响,结果表明，奶牛对 AF 组饲粮 CP 消化率高于 CS 组饲粮，这说明高 CP 摄入量可以提高奶牛 CP 消化率。这个结果与周汉林等[22]研究结果一致，随饲粮 CP 水平升高，CP 和氮的表观消化率也升高。陈艳等[23]认为牧草 CP 含量较高，有利于 CP 的降解；而秸秆的纤维素结构影响蛋白质分解。

3.4 粗饲料组合对热应激奶牛瘤胃微生物蛋白合成的影响

瘤胃微生物蛋白是可代谢蛋白重要组成部分，影响饲料 CP 合成乳蛋白的效率[24]。饲粮蛋白质在瘤胃降解成氨氮被微生物利用[25]。但过量的氨氮透过瘤胃壁进入血液，在肝脏中转化成尿素，并通过肾随尿排出体外；这不仅影响瘤胃微生物的生长，造成氮资源的浪费，还污染环境[5]。本试验发现与 CS 组相比，AF 组瘤胃微生物蛋白产量较高，而血液和尿液尿素氮浓度较低。因此，与玉米秸秆饲粮相比，苜蓿+玉米青贮饲粮更适合热应激奶牛瘤胃微生物的生长。

3.5 粗饲料组合对热应激奶牛氮转化效率的影响

乳蛋白产量与蛋白质摄入量、微生物蛋白产量密切相关。Wright 等[26]研究发现随着饲粮 CP 水平升高，能释放足够的氮源合成瘤胃微生物蛋白，提高乳蛋白产量。赵勐等[24]研究报道称，乳蛋白产量与 CP 摄入量相关性为 0.874，与微生物蛋白产量相关性为 0.484。本试验中，AF 组奶牛氮的摄入量和乳中氮产量较高，但氮的转化效率较低。氮转化效率低可能是由于 CP 水平（18.5%）较高，尿氮和粪氮的排泄量增加。Mulligan 等[27]研究发现奶牛饲喂高蛋白质饲粮（20.4%）尿氮和总氮排泄量比饲喂低蛋白质饲粮（16.4%）高。本试验结果显示，与玉米秸秆相比，苜蓿+玉米青贮的组合提高了饲粮 CP 水平，增加了奶牛 CP 摄入和消化，促进了乳蛋白合成，但高 CP 水平不利于氮的高效转化。

4 结 论

夏季奶牛处于热应激状态，采食量明显下降，导致牛奶营养物质摄入减少，产奶量降低。另外，热应激使奶牛氮代谢改变，维持需要的蛋白质增加，乳蛋白合成降低。本试验饲喂苜蓿+玉米青贮组饲粮，提高热应激奶牛采食量和 CP 表观消化率，促进瘤胃微生物蛋白和乳蛋白合成，增加产奶量。但是苜蓿+玉米青贮组饲粮氮的转化效率较低，需进一步研究最适 CP 水平，以促进热应激奶牛乳蛋白合成和提高氮转化效率。

参考文献:

[1] WHEELOCK J B,RHOADS R P,VANBAALE M J,et al.Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2010,93(2):644–655.

[2] 程建波,王伟宇,郑楠,等.自然生产条件下热应激周期变化揭示泌乳中期奶牛出现“热应激乳蛋白降低征”[J].中国畜牧兽医,2014,41(10):73–84.

[3] BERNABUCCI U,BASIRICÒ L,MORERA P,et al.Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2015,98(3):1815–1827.

[4] COWLEY F C,BARBER D G,HOULIHAN A V,et al.Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism[J].Journal of Dairy Science,2015,98(4):2356–2368.

[5] TAMMINGA S.Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control[J].Journal of Dairy Science,1992,75(1):345–357.

[6] 夏科,王志博,郗伟斌,等.粗饲料组合对奶牛饲粮养分消化率、能量和氮的利用的影响[J].动物营养学报,2012,24(4):681–688.

[7] REN Q C,JIN X,ZHANG Z H,et al.Effects of dietary neutral detergent fibre to protein ratio on duodenal microbial nitrogen flow and nitrogen losses in lactating cows fed high-concentrate total mixed rations with different forage combinations[J].The Journal of Agricultural Science,2015,153(4):753–764.

[8] BHANDARI S K,OMINSKI K H,WITTENBERG K M,et al.Effects of chop length of alfalfa and corn silage on milk production and rumen fermentation of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(5):2355–2366.

[9] AOAC.Official methods of analysis of AOAC international[M].17th ed.Arlington,V.A.:AOAC,2000.

[10] VANKEULEN J,YOUNG B A.Evaluation of acid-insoluble Ash as a natural marker in ruminant digestibility studies[J].Journal of Dairy Science,1977,44:282–287.

[11] FAO/IAEA.Estimation of rumen microbial protein production from purine derivatives in urine[S].Vienna:IAE,1997.

[12] CHEN X B,GOMES M J.Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives-an overview of the technical details[M]//International feed resources unit.Aberdeen:Rowett Research Institute,1992.

[13] VALADARES R F D,BRODERICK G A,VALADARES FILHO S C,et al.Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives[J].Journal of Dairy Science,1999,82(12):2686–2696.

[14] ARMSTRONG D V.Heat stress interaction with shade and cooling[J].Journal of Dairy Science,1994,77(7):2044–2050.

[15] BERMAN A,FOLMAN Y,KAIM M,et al.Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate[J].Journal of Dairy Science,1985,68(6):1488–1495.

[16] WEST J W.Effects of heat-stress on production in dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2003,86(6):2131–2144.

[17] BAUMGARD L H,ABUAJAMIEH M K,STOAKES S K,et al.Feeding and managing cows to minimize heat stress[C]//Proceedings of the 23rd tri-state dairy nutrition conference.Fort Wayne,USA:Ohio State University,2014:61–74.

[18] 王金合,李爱国,赵咏梅.不同粗饲料对奶牛生产性能的影响[J].当代畜牧,2010(8):32–33.

[19] GRINGS E E,ROFFLER R E,DEITEHOFF D P.Response of dairy cows in early lactation to additions of cottonseed meal in Alfalfa-based diets[J].Journal of Dairy Science,1991,74(8):2580–2587.

[20] 陈俊阳,董文,窦志斌,等.季节变化对奶牛日粮营养物质消化率的影响[J].中国畜牧杂志,2008,44(13):46–47,56.

[21] 温雅俐,杜瑞平,高民,等.热应激对奶牛采食、消化和生产性能的影响[J].中国畜牧杂志,2013,49(15):85–89.

[22] 周汉林,莫放,李琼,等.日粮不同蛋白水平对生长牛营养物质消化率的影响[J].河北农业大学学报,2006,29(1):82–86.

[23] 陈艳,张晓明,王之盛,等.6种肉牛常用粗饲料瘤胃降解特性和瘤胃非降解蛋白质的小肠消化率[J].动物营养学报,2014,26(8):2145–2154.

[24] 赵勐,王加启,朱丹,等.饲粮碳水化合物组成对奶牛氮利用率的影响[J].动物营养学报,2015,27(8):2405–2413.

[25] WANG C,LIU J X,YUAN Z P,et al.Effect of level of metabolizable protein on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(6):2960–2965.

[26] WRIGHT T C,MOSCARDINI S,LUIMES P H,et al.Effects of rumen-undegradable protein and feed intake on nitrogen balance and milk protein production in dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1998,81(3):784–793.

[27] MULLIGAN F J,DILLON P,CALLAN J J,et al.Supplementary concentrate type affects nitrogen excretion of grazing dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2004,87(10):3451–3460.

Effects of Forage Combinations on Nitrogen Efficiency of Dairy Cows under Heat Stress

GUO Jiang[1,2,3] WANG Jiaqi[2] GAO Shengtao[2,3] QUAN Suyu[2,3] BU Dengpan[1,2,3,4*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China*; 2. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 3. *Joint Laboratory on Agroforestry and Sustainable Animal Husbandry, CAAS-ICRAF, Beijing* 100193, *China*; 4. *Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, Northeast Agricultural University, Harbin* 150030, *China*)

Abstract： In order to investigate the effects of forage combinations on nitrogen efficiency of heat-stressed cows, twenty healthy Holstein cows with similar parities and days in milk were randomly divided into two groups with ten cows per group. Cows were fed diets with two forage combinations [corn silage+alfalfa hay (0.92∶1.00, AF group) and corn straw (CS group)], but with the same concentrate and the same concentrate to forage ratio (63.7:36.3). The pretest lasted for 1 week, and the test lasted for 8 weeks. The results showed as follows: 1) compared with CS group, cows in AF group had significantly higher milk, energy-corrected milk, 4% fat-corrected milk, milk protein and lactose yield ($P<0.05$ or $P<0.01$). 2) Cows showed significantly higher crude protein （CP） apparent digestibility in AF group diet than that in CS group diet ($P<0.01$). 3) Microbial protein yield in AF group was significantly higher than that in CS group ($P<0.05$), however, urine and blood urea nitrogen concentration were significantly lower in AF group ($P<0.01$). 4) Compared with CS group, cows in AF group had significantly higher nitrogen intake and milk nitrogen yield ($P<0.01$), however, had significantly lower nitrogen conversion rate

*Corresponding author, professor, E-mail: budengpan@126.com (责任编辑 王智航)

(P<0.05). These results indicate that compared with corn straw, the combination of alfalfa hay and corn silage can increase dietary CP level, increase CP apparent digestibility, and improve microbial protein and milk protein synthesis of heat-stressed dairy cow, however, nitrogen efficiency needs to improve.

Key words: heat stress; forage; microbial protein; apparent digestibility; nitrogen efficiency